

так і соціально-орієнтований (споживча вартість транспортних послуг), який враховує соціальні наслідки транспортної поїздки. Використання якого-небудь середньозваженого тарифу між вказаними може призвести до помилкових висновків, тобто тариф, що не задовольняє пасажирів, може призвести до того, що пасажир відмовиться від користування цим маршрутом. При цьому тариф, який не відповідає вимогам автотранспортного підприємства, призведе до того, що перевізник відмовиться працювати.

1. Доля В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах. – Харьков: Основа, 1992. – 144 с.
2. Капроні Р., Кисіль С., Резанова Н., Василенко Д. Лізинг в Україні. – К., 2007. – 138 с.
3. Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах: Пер. с чеш. – М.: Транспорт, 1987. – 239 с.
4. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом. – М.: ИКЦ «Академника», 2004. – 413 с.
5. Статья 13 Закона Республики Казахстан «Об автомобильном транспорте» от 4 июля 2003 г. № 476.
6. Пінішко В.С. Ціни і ціноутворення. – Львів: Інтеллект-Захід, 2006. – 488 с.

*Отримано 10.07.2008*

УДК 656.13

В.И.ГУК, канд. техн. наук

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

В.А.ЧУМАЧЕНКО, Е.В.ЗАПОРОЖЦЕВА

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **НОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

Раскрывается новое направление в теории измерителей транспортных потоков, теоретический аппарат которого позволяет описывать изменение состояний транспортного потока в дифференциальной форме, определять причинно-следственные связи. Движение потока автомобилей описывается как непрерывное изменение его состояний: разгона, равномерного движения, торможения.

Теория транспортного потока – наука, так как использует научный метод для получения соответствующих знаний и отличается от других наук предметом исследований. Она изучает явления, связанные с функционированием транспортных потоков, в том аспекте, который не раскрывается другими науками. Теория транспортных потоков является высшей формой организации знаний законов движения автомобилей в различных дорожных условиях, при разном уровне управления движением и в различных по составу транспортных потоках. Сущест-

вующая теория транспортного потока не обладает в необходимой мере признаками адекватности и полноты отображения объективной реальности движения непрерывного насыщенного транспортного потока, так как результаты, получаемые на языке теории описывают далеко не все возможные ситуации движения потока и автомобилей в потоке при различной дорожной обстановке в городах.

Рассмотрение систематизированных моделей с позиции составления уравнений движения транспортного потока во времени и в пространстве показывает, что уравнения движения, согласно общезначимым требованиям, должны включать в себя ускорение, скорость и координаты потока [2, 3] (или автомобилей потока) и позволяет сделать вывод, что таких уравнений фактически нет. Формально достаточно близко подходят уравнения упрощенной динамической модели и уравнения следования за лидером для описания движения одиночного автомобиля в квазипотоке. Описание движения транспортного потока заканчивается попыткой приспособить гидродинамическую аналогию уравнения неразрывности потока, состоящее из ускорения и распределения плотности в какой-либо точке пространства или в какой-либо момент времени [1-4]. Следовательно, дальнейшее формирование теории транспортного потока выполним в качественном направлении, так как стохастические зависимости не позволяют раскрыть причинно-следственные связи, закономерности, нелинейности и структуру транспортного потока, т.е. определим новые характеристики потока. Новое направление в формировании теории измерителей не замыкается на качественной стороне динамики транспортного процесса, а представляет собой синтез накопленных знаний и экспериментальных данных с новыми законами и понятиями для объяснения ранее установленных эмпирических зависимостей и решения задач движения автомобильного транспорта по городским улицам и дорогам в современных условиях.

Применение топологических методов для анализа системы "транспортный поток" требует определения основных экстенсивных и интенсивных параметров. Как было замечено рядом авторов [1-3], цепи и системы необходимо анализировать, используя продольные и поперечные переменные. В этом случае сопротивление движению и плотность транспортного потока определяются как отношения продольных и поперечных переменных [2-3]. Для определения указанных переменных выделим структурный элемент улично-дорожной сети, на котором возможно накопление единиц транспортного потока, их движение, уменьшение или увеличение скорости, возникновение заторов. Таким топологическим структурным элементом улично-дорожной се-

ти является перегон (расстояние между перекрестками) единичной длины. Определим для любого перегона алгебраическое уравнение, связывающее скорость транспортного потока  $V$  и его интенсивность  $N$ . При этом учтем, что как скорость, так и интенсивность изменяются во времени, и поэтому используем символы  $V(t)$  и  $N(t)$ .

Описание характеристик перегона будет полным, если будут получены уравнения, связывающие переменные  $V(t)$  и  $N(t)$ , которые характеризуют дуальность транспортной единицы в обобщенных параметрах.

Для получения обобщенных параметров, согласно методике [3], рассмотрим отношение  $V(t)$  и  $N(t)$ , произведение  $V(t)$  и  $N(t)$  и быстроту изменения одной величины от другой во времени, т.е. первые производные по  $dt$ .

Предположим, что связь между  $V(t)$  и  $N(t)$  аппроксимируется прямой, проходящей через начало координат. Это предположение справедливо для условий насыщенного движения, когда с интенсивностью падает и скорость движения, доходя при заторе в своих значениях до нулей ( $N=0$ ;  $V=0$ ).

Уравнение, характеризующее отношение  $N(t)$  и  $V(t)$ , можно записать как

$$N(t) = Q V(t), \quad (1)$$

где  $Q$  – обобщенный параметр, определяемый как быстрота изменения скорости транспортного потока при изменении интенсивности потока. Данный параметр  $Q$  известен как плотность транспортного потока. А уравнение (1) известно как основное уравнение состояния транспортного потока

$$dN(t) = Q \cdot dV(t). \quad (2)$$

Размерность плотности – авт./км. Уравнение, связывающее скорость  $V(t)$  и интенсивность  $N(t)$  как отношение, позволяет определить сопротивление движению транспортного потока по полосам перегона, возникающее с ростом плотности. В то же время уравнение, связывающее  $N(t)$  и  $V(t)$  как произведение, позволяет определить обобщенную мощность системы «транспортный поток – дорога»

$$M(t) = N(t) \cdot V(t) \quad (3)$$

или скорость изменения энергии потока [3], которую определим, учитывая (3) как "объем движения". Учитывая (1) и (2), получим

$$M(t) = QV^2(t) = N^2(t)/Q. \quad (4)$$

Уравнение (4) говорит о том, что объем движения на выходе перегона под влиянием плотности  $Q$  будет уменьшаться по сравнению с входом.

Рассмотрим теперь зависимость между продольной  $V(t)$  и поперечной переменными  $N(t)$  для задач, где  $V(t)$  функция,  $N(t)$  – аргумент. Как и ранее, будем рассматривать линейную зависимость, позволяющую более просто получить и проанализировать обобщенные параметры системы "транспортный поток". Уравнение, характеризующее отношение  $V(t)$  и  $N(t)$ , будет иметь вид:

$$V(t) = \frac{N(t)}{Q} = S \cdot N(t), \quad (5)$$

где  $S = 1/Q$  – инверсионная плотность, представляющая собой долю пути, приходящуюся на один автомобиль потока или быстроту изменения скорости при изменении интенсивности. Фактически параметр  $S$  для плотных транспортных потоков представляет величину динамического габарита. Для движения насыщенного транспортного потока параметр  $S$  определим, как "динамический габарит", а для условий движения неплотных потоков – "свободный динамический габарит", так как в этих случаях автомобилям обеспечивается свобода движения и отсутствует их взаимное влияние. С учетом динамического габарита объем движения транспортного потока определяется следующим уравнением

$$M(t) = \frac{V^2(t)}{S} = S \cdot N^2(t), \quad (6)$$

которое указывает, что с увеличением расстояния между автомобилями, т.е. динамического габарита, объем движения транспортного потока будет увеличиваться. Размерность и физический смысл параметра "объем движения" отличается от аналогичного термина в [1-2], где он больше соответствует термину "количество потока". В общефизическом понимании мощность всегда связана с общей энергией системы тождеством [3]

$$M = \frac{dE}{dt}. \quad (7)$$

Учтем это тождество как основополагающее для описания движения транспортного потока.

Рассмотрим далее характеристики, для которых скорость потока  $V(t)$  является функцией производной от интенсивности  $N(t)$  по времени, т.е. от быстроты изменения интенсивности. Аппроксимируем данную характеристику прямой, проходящей через начало координат, и получим уравнение вида:

$$V(t) = \frac{C \cdot dN(t)}{dt}, \quad (8)$$

где  $C$  назовем "обобщенной напряженностью" транспортного потока, учитывающей быстроту уменьшения или увеличения расстояния между автомобилями.

Напряженность потока  $C$  характеризует собой быстроту изменения скорости при изменении интенсивности транспортного потока. Уравнение (8) представляет  $V(t)$  как явную функцию от интенсивности  $N(t)$ . Для того, чтобы определить имеющие практический интерес изменения интенсивности в зависимости от изменения скорости и образование в процессе движения групп, очередей, колонн, установим зависимость  $N(t)$  от  $V(t)$  в явном виде. Если  $\frac{dN(t)}{dt}$  существует, то обратное соотношение получим, проинтегрировав выражение (8)

$$N(t) = \frac{1}{C} \int V(t) dt + N(0). \quad (9)$$

Если  $N(t)$  – разрывная (ступенчатая) функция, то  $\frac{dN(t)}{dt}$  не существует, и уравнение (8) не является удовлетворительной формой уравнения напряженности, так как не имеет решения. Поэтому выполним замену переменных, введя новую переменную  $L(t)$  как обобщенное смещение (путь). Известно, что  $L(t)$  есть интеграл от скорости транспортного потока, поэтому скорость есть непрерывная функция времени. Учитывая (8) и то, что аппроксимируемая прямая проходит через начало координат, получим уравнение для вариации относительно точки  $N(t) = 0$

$$L(t) = C \cdot N(t). \quad (10)$$

или для нелинейного случая

$$dL(t) = C dN(t). \quad (11)$$

Следовательно, закон сжатия в группу, колонну или увеличения напряженности в транспортном потоке на перегоне можно выразить одной из следующих четырех формул:

$$N = \frac{L}{C}, \quad N = \frac{1}{C} \int V dt, \quad L = C \cdot N, \quad V = C \frac{dN}{dt}, \quad (12)$$

которые указывают на накопление потенциала в потоке. Размерность напряженности  $\frac{\text{км} \cdot \text{ч}}{\text{авт.}}$ . Для получения следующего обобщенного параметра рассмотрим на однополосном перегоне зависимость времен-

ной производной скорости  $V(t)$  от интенсивности  $N(t)$ , т.е. обратную зависимость по отношению к (8). Взаимосвязь  $N(t)$  с  $\frac{dV(t)}{dt}$  получим, также аппроксимируя характеристику этой связи при помощи прямой и направляя ее через начало координат. Получим уравнение

$$N(t) = J \frac{dV(t)}{dt}, \quad (13)$$

где  $J$  – передаточная функция инерционности автомобиля для рассматриваемой системы "транспортный поток". Интерпретируем ее как инерционность, т.е. как аккумулятор кинетического потенциала. В уравнении (13) интенсивность  $N(t)$  является явной функцией от  $\frac{dV(t)}{dt}$ . Если  $\frac{dV(t)}{dt}$  существует в интервале  $0 \leq T \leq t$ , то решение уравнения имеет вид:

$$V(t) = \frac{1}{J} \int_0^t N(t) dt = V(0). \quad (14)$$

Если  $V(t)$  – разрывная функция, то уравнение (14) не имеет решения. Как и в случае с напряженностью, обойдем эту трудность, используя новую переменную  $q(t)$ , названную "количеством потока" [2] и равную

$$q(t) = J V(t). \quad (15)$$

Тогда

$$N(t) = \frac{dq(t)}{dt}. \quad (16)$$

Если интенсивность является непрерывной функцией времени, то количество потока  $q(t)$  связано с интенсивностью  $N(t)$  соотношением

$$q(t) = \int_0^t N(t) dt. \quad (17)$$

Произведение интенсивности потока на промежуток времени  $dt$  будет представлять элементарную величину интенсивности (увеличение на одну автомашину)  $n = Nd$ . В то же время произведение инерционности транспортного потока на скорость будет представлять собой количество потока  $q$ , и, следовательно, инерционность характеризует быстроту изменения количества потока (автомобилей) с изменением скорости потока  $q = JV$ .

Фактически элементарная величина интенсивности за время  $dt$  равна изменению количества потока за то же время  $dt$ , т.е.

$$n = d(q). \quad (18)$$

Уравнение (18) указывает на закон изменения количества транспортного потока: "Изменение интенсивности транспортного потока за некоторый промежуток времени равно изменению количества автомобилей в потоке за то же время". Этот закон позволяет по начальной скорости автомобилей  $-V \cdot Q$  и известному количеству потока (величина, на которую изменилась интенсивность) находить конечную скорость автомобилей в потоке, минуя все вычисления промежуточных скоростей  $V_i$ . Количество транспортного потока представляет собой движущуюся группу или "пачку" автомобилей на одной полосе, число которых в "пачке" может изменяться от одного автомобиля до некоторого максимального количества и, в свою очередь, зависит от протяженности участка дороги  $dl$ , где изучается движение транспортного потока и от величины интервала времени  $dt$ . Закон сохранения количества потока возникает в связи с однородностью пространства дороги. В силу этой однородности свойства системы "транспортный поток" не будут меняться при любом параллельном переносе системы как целого в пространстве. Для исследуемой системы закон сохранения количества потока подтверждается тем обстоятельством, что при неизменной интенсивности  $N$  (приращение интенсивности равно нулю) количество потока будет величиной постоянной. Так, количество автомобилей в движущейся группе будет неизменным как на участке дороги  $L$ , так и на участке  $L + dl$ . Из уравнения (17) видно, что количество потока обладает важным свойством – аддитивностью. А именно, значение "количество потока" для транспортного потока, состоящего из автомобилей, взаимодействием которых можно пренебречь, равно сумме значений из каждого автомобиля в отдельности. Данное обстоятельство указывает на то, что в качестве количества потока можно рассматривать как один автомобиль, так и группу автомобилей. Уравнение (17) является основным уравнением количества потока и позволяет решать две типичные задачи: по известной величине интенсивности найти закон изменения количества в потоке или по известному закону изменения количества найти интенсивность потока. В то же время инерционность транспортного потока характеризует (13) аккумуляцию кинетического потенциала транспортного потока на полосе перегона при движении группы, пачки автомобилей, с максимальной скоростью после остановки у светофора. Численное значение инерционности можно получить из графической линейной зависимости  $q(t)$  от  $V(t)$ ,  $q(t) = J \cdot V(t)$ . Размерность инерционности  $J$  – авт.ч/км. Таким образом, накопление

кинетического потенциала транспортного потока на перегоне будет описываться одним из следующих уравнений:

$$q = J \cdot V; \quad N = J \frac{dV}{dt}; \quad V = \frac{q}{J}; \quad V = \frac{1}{J} \int N dt. \quad (19)$$

Обратная величина инерционности  $J$  представляет собой весьма интересный с позиции безопасности дорожного движения параметр - это быстрота изменения состояния или динамического габарита автомобиля. Этот параметр характеризует ускоренность транспортного

потока  $\frac{1}{J} = B$ , единица измерения -  $\frac{\text{км}}{\text{авт} \cdot \text{ч}}$ . Полученные уравнения

транспортного потока, связывающие  $V(t)$ ,  $N(t)$  (3) и одно из уравнений состояния потока (1), (8), (13), (17) и характеризующие элемент системы "транспортный поток" позволяют определить энергетические показатели и, следовательно, составить уравнения движения транспортного потока во времени и в пространстве. Отношение  $q(t)$  к  $L(t)$  представляет собой плотность транспортного потока  $Q(t) = q(t)/L(t)$ , а отношение  $L(t)$  к  $q(t)$  - динамический габарит  $S(t) = \frac{L(t)}{q(t)}$ . Эти характеристики

транспортного потока рассмотрены выше. Таким образом, в основных транспортных характеристиках зависимость скорости от интенсивности описывается уравнениями:

$$V = \frac{N}{Q}, \quad V = \frac{CdN}{dt}, \quad V = \frac{1}{J} \int N(t) dt. \quad (20)$$

В свою очередь, зависимость интенсивности от скорости

$$N = Q \cdot V, \quad N = J \frac{dV}{dt}, \quad N = \frac{1}{C} \int V(t) dt, \quad (21)$$

что аналогично общим законам моделирования систем [3].

Используя общесистемные методы идентификации потоковых систем, установлены дорожный и транспортный потенциалы, эксергия - как внешняя работоспособность системы «транспортный поток - дорога» и определены три вида сопротивлений: плотность, инерционность и напряженность, которые позволяют составлять дифференциальные уравнения движения потока как через сечение, так и по перегону и существенно развивают теорию измерителей потоков транспорта.

1. Гук В.И. Элементы теории транспортных потоков и проектирования улиц и дорог. - К.: УМК ВО, 1991. - 254 с.

2. Паллен К.Л. Топологические и матричные методы. Теория и применение: Пер. с



англ. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 98 с.

3.Хейт Ф.Математическая теория транспортных потоков: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 284 с.

4.Гук В.И. Идентификация транспортного потока как объекта управления // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. Вып.19. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – С.24-28.

*Получено 11.09.2008*

УДК 656.11.021.2

Ю.А.ДАВИДИЧ, д-р техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

М.В.КАЛЮЖНЫЙ

*Донецкий институт автомобильного транспорта*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ПЕРЕГОНА МАРШРУТА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Исследуется значимость факторов, влияющих на техническую скорость транспортных средств, при решении задачи по определению длины перегона, обеспечивающей минимальные затраты времени пассажиров на передвижение.

Параметры функционирования городского пассажирского транспорта определяют затраты времени населения городов на их перемещение к месту работы и уровень их утомляемости во время трудовой поездки, которые влияют на производительность труда. Решение задачи по уменьшению затрат времени пассажиров на передвижение невозможно без определения рациональной длины перегона маршрута городского пассажирского транспорта [1].

Теория городского пассажирского транспорта базируется на основных понятиях, характеризующих движение людей в городском пространстве – передвижение и поездка [1, 2]. Основными характеристиками передвижений, по мнению исследователей, являются длина поездки, скорость сообщения и затраты времени на передвижение [1, 2]. Наиболее общей характеристикой передвижения являются затраты времени на передвижение, которые определяются длиной передвижения и скоростью сообщения.

При проектировании транспортных систем виды городского пассажирского транспорта и необходимые характеристики их транспортных сетей и маршрутных систем необходимо выбирать в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил [3]. На затраты времени пассажиров на передвижение можно влиять внедрением различных организационных мероприятий технологического процесса перевозки пассажиров. Исследователи в работе [1] выделяют